

***А. В. Степанчукова^{1*}, Е. Ю. Приймак¹, И. Л. Яковлева²,
Н. А. Терещенко²***

¹ОАО «Завод бурового оборудования», г. Оренбург

²Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

*annastep56@zbo.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ КАРБОНИТРИРОВАННОГО СЛОЯ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии изучена структура карбонитрированного слоя и гетерофазной зоны в среднеуглеродистой легированной стали 38ХМА. Показаны особенности распределения образующихся при насыщении стали азотом и углеродом фаз.

Ключевые слова: среднеуглеродистая сталь, карбонитрация, гетерофазная зона, карбонитрированный слой.

A. V. Stepanchukova, E. Yu. Priymak, I. L. Yakovleva, N. A. Tereshhenko

THIN STRUCTURE OF CARBONITRIDED LAYER OF MEDIUM-CARBON STEEL

Methods of the optical, scanning and translucent electronic microscopy have studied structure of a carbonization layer and heterophase zone in the medium-carbon alloyed steel 38HMA. It is shown the features of distribution formed at steel saturation by nitrogen and carbon of phases.

Keywords: medium-carbon steel, carbonization, heterophase zone, carbonization layer.

Карбонитрация – один из современных и наиболее популярных в последнее время способов химико-термического упрочнения поверхности. Суть данного метода заключается в насыщении поверхности деталей азотом и углеродом в результате нагрева в расплаве солей на основе цианата и карбоната калия в интервале температур 540–560 °С [1]. В итоге на поверхности формируется упрочненный слой, структура которого имеет сложное строение и включает несколько зон с различным фазовым составом. Состав образующихся при карбонитрации фаз соответствует диаграммам состояния Fe–Fe₃C и Fe–N [1; 2]. Основными стабильными фазами в системе Fe–N являются γ' -фаза Fe₄N и ε -фаза переменного состава типа Fe₃N, обладающая заметной областью гомогенности. В некоторых случаях в упрочненном слое могут отсутствовать отдельные

зоны, соответствующие фазам с узкой областью гомогенности на диаграмме состояния.

Упрочнение поверхности стали после карбонитрации и в конечном итоге эксплуатационные свойства изделия зависят как от строения карбонитрированного слоя, так и от химического состава насыщаемого материала [1]. Поэтому большой интерес представляет исследование тонкой структуры карбонитрированного слоя, а также его фазового состава, так как экспериментальные сведения об этом практически отсутствуют.

Целью настоящей работы явилось исследование структуры и фазового состава насыщаемого слоя, образующегося при карбонитрации в среднеуглеродистой легированной стали марки 38ХМА.

Исследованию подвергались образцы среднеуглеродистой легированной стали марки 38ХМА размером 10×4×15 мм, подвергнутые карбонитрации. Карбонитрацию осуществляли в расплаве солей состава: 80% K_2CO_3 и 20% $KCNO$ при температуре 560 °С, продолжительность – 180 минут.

Металлографическое изучение структуры проводили с использованием светового микроскопа *Nikon ECLIPSE MA 100* и сканирующего микроскопа *SEOL JSM-6460LV*.

Электронномикроскопические исследования тонких фольг проводили на микроскопе *JEM-200CX* с использованием темнопольного и микродифракционного анализа.

Рентгеноструктурное исследование проводили на дифрактометре МД-10 в Co -излучении. Толщина слоя материала, отражающего 75 % излучения в данных условиях съемки, составляет 16 мкм.

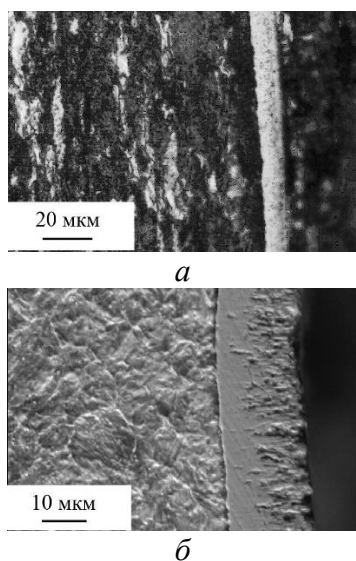


Рис. 1. Микроструктура стали 38ХМА после карбонитрации при 560 °С в течение 90 мин

По данным металлографического исследования карбонитрированный слой находится у поверхности в виде слаботравящейся светлой полосы на фоне более темного основного металла (рис. 2, а). Изображение структуры слоя, полученное в сканирующем электронном микроскопе приведено на рис. 2, б. Видно, что на поверхности основного металла сформировался слоистый композит. Непосредственно вблизи поверхности в карбонитрированном слое располагается пористая зона, богатая окислами; большинство пор ориентировано нормально к поверхности. У стали 38ХМА наблюдается минимальная пористость слоя, что обусловлено присутствием хрома и

молибдена в химическом составе этой стали, которые значительно уменьшают склонность к образованию пор, тем самым повышая качество карбонитрированного слоя.

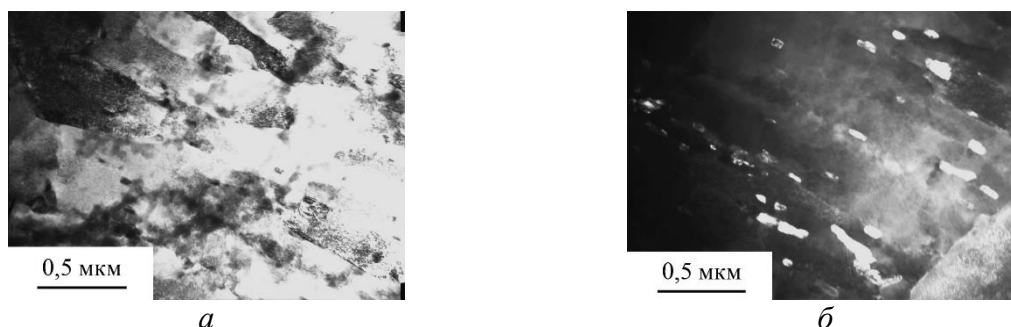


Рис. 2. Структура основного металла стали 38ХМА: *а* – светлопольное изображение; *б* – темнопольное изображение в рефлексе (013) Fe_3C

Электронномикроскопическое исследование позволило выявить структурное состояние гетерофазной зоны стали 38ХМА после карбонитрации. Структура основного металла представляет собой отпущенный мартенсит, в котором на фоне «бывших» мартенситных реек видны выделения карбидной фазы (рис. 2).

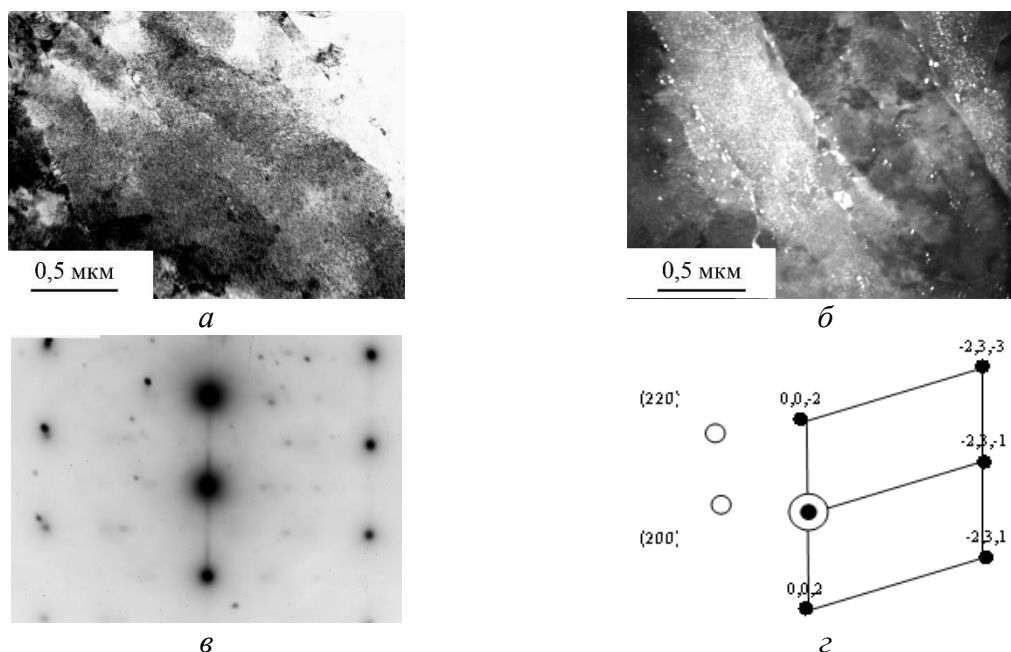
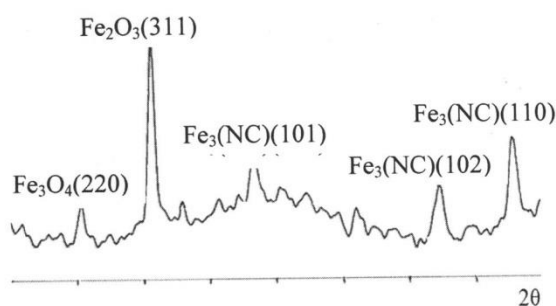


Рис. 3. Структура гетерофазной зоны стали 38ХМА после карбонитрации: *а* – светлопольное изображение; *б* – темнопольное изображение в рефлексе (200) Fe_4N ; *в* – электронограмма; *г* – схема ее расшифровки: ● – рефлексы α -железа; ○ – рефлексы Fe_4N

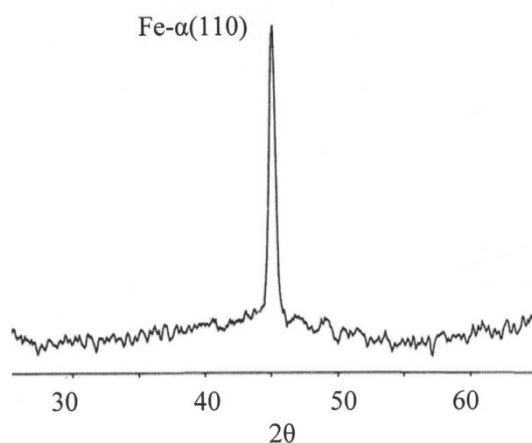
Гетерофазный слой располагается на расстоянии приблизительно 20–30 мкм от поверхности (рис. 3). Основу структуры составляет α -фаза. На светлопольных изображениях видны достаточно протяженные области

кристаллов α -фазы (рис. 3, а), внутри которых располагаются мелкодисперсные выделения.

На электронограмме присутствуют рефлексы феррита и кубической фазы Fe_4N ; (рис. 3, в, г). Через рефлексы матричной α -фазы проходят тяжи, их наличие на микродифракционной картине свидетельствует об преимущественном выделении нитридной фазы вдоль плоскостей $\{100\}$ решетки исходного феррита [3]. На темнопольном изображении в рефлексе (200) Fe_4N присутствуют кристаллики нитрида в виде тонких пластинок размером 10–20 нм (рис. 3, б).



а



б

Рис. 4. Рентгенограмма стали 38ХМА после карбонитрации при 560 °С в течение 90 мин: а – с поверхности; б – с основного металла

Результаты рентгеноструктурного анализа дают представление о фазовом составе карбонитрированного слоя. На рис. 4 представлена рентгенограмма с поверхности стали 38ХМА, подвергнутой карбонитрации в течение 90 мин. Рентгенограмма, снятая в интервале углов $2\theta = 15\text{--}70$ град, содержит линии (101), (102) и (103), принадлежащие карбонитриду железа типа $\text{Fe}_3(\text{NC})$ с гексагональной кристаллической решеткой, с образованием именно этой фазы связано упрочнение карбонитрированного слоя.

Помимо перечисленных, на рентгенограмме присутствуют линии (220), (103), принадлежащие окислу железа типа Fe_3O_4 и Fe_2O_3 , наличие которых обусловлено пористой зоной.

Рентгенограмма, полученная с основного металла, в данном интервале углов содержит единственную линию (110) α -железа (рис. 4, б).

Таким образом, было установлено, что в результате карбонитрации на поверхности среднеуглеродистой легированной стали 38ХМА образуется слоистый композит, состоящий из карбонитрированного слоя толщиной 16 мкм и расположенной под ним гетерофазной зоны. Электронномикроскопические исследования показали, что благодаря

повышенной концентрации азота в гетерофазной зоне выделяются мелкодисперсные пластинчатые частицы нитридной фазы Fe_4N , которые располагаются преимущественно вдоль плоскостей $\{100\}$ ОЦК-решетки α -фазы. Данные рентгеноструктурного анализа подтвердили наличие в слое карбонитрида железа типа $\text{Fe}_3(\text{N,C})$, и $\text{Fe}_4(\text{N,C})$, способствующего формированию высокой твердости и износостойкости карбонитридного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокошкин Д. А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация. М. : Металлургия. Машиностроение, 1984. С. 240.
2. Смирнов М. А., Счастливцев В. М., Журавлев Л. Г. Основы термической обработки стали. М. : Наука и технологии, 2002. С. 519.
3. Утевский Л. М. Диффракционная электронная микроскопия в металловедении. М. : Металлургия, 1973. С. 584.